

中华人民共和国水利行业标准

渠系工程抗冻胀设计规范

SL 23—2006

条 文 说 明

# 目 次

1 总则	39
3 基本参数的确定	42
3.1 冻结深度	42
3.2 冻胀量	44
3.3 土的冻胀性及地基土的冻胀级别	45
3.4 冻胀力	46
4 抗冻胀计算	50
4.1 一般规定	50
4.2 衬砌渠道	50
4.3 桩、墩类基础	52
4.4 板型基础	54
4.5 挡土墙	56
5 抗冻胀结构及工程措施	58
5.1 衬砌渠道	58
5.2 桩、墩类基础	60
5.3 板型基础	61
5.4 挡土墙	63
5.5 其他抗冻胀工程措施	65

# 1 总 则

**1.0.1** 根据我国北方地区大量的调查研究资料，受地基土冻胀作用而破坏的水利工程中，最多的是渠系构筑物和渠道衬砌。这些工程主要有下列三种类型的结构：

(1) 薄层护砌或浅基础结构。基础埋置深度小于冻结深度，易受法向冻胀力和切向冻胀力破坏，如渠道衬砌、构筑物进出口护砌、闸室和消力池底板等。

(2) 支挡构筑物。其墙体厚度小于冻深，在双向冻结条件下，易受水平冻胀力破坏，如闸墙、挡土墙等。

(3) 固定荷载较小的建筑物。即使基础埋深至冻深以下，但还有可能在切向冻胀力作用下破坏，如渡槽、桥桩、桥墩等。

除了渠系工程外，其他水工建筑物有的也属于这三种类型结构，如土坝的护坡、水库溢洪道的陡坡护砌及各类建筑物进出口护坡等。因此，本标准主要是对渠系工程（包括渠系构筑物和渠道衬砌）而言，其他可能受冻胀破坏的类似构筑物或结构，也可参照本标准执行。

**1.0.2** 在冻深较小的地区，大部分水工构筑物的基础埋深是为满足稳定要求而确定的，一般都在冻层以下，所承受的冻胀力很小。根据北方各省份所进行的大量调查研究，在冻深小于本条规定限值的地区，按常规设计的工程，不会因冻胀作用而破坏，可不作专门抗冻设计。

渠道衬砌因厚度小、自重轻而对冻胀作用十分敏感，所以本条规定渠道衬砌不做抗冻设计的冻深限值小于其他构筑物。原规范规定的限值为 30cm，经过多年的观测实践，冻深小于 30cm，但土的冻胀性较强时，其冻胀变形也能超过允许值。因此，本次对冻深的限值进行了修订。

本标准规定由最大冻深计算设计冻深时应考虑日照及遮阴程

度、地下水等修正系数，即  $Z_d = \phi_d \phi_w Z_m$ ，式中的修正系数最小为 0.89，最大为 1.35，平均为 1.12。

当最大冻深  $Z_m$  分别为 10cm、20cm、30cm 时，对应的设计冻深  $Z_d$  值见表 1。

表 1 设计冻深  $Z_d$  值

$Z_m$ (cm)		10	20	30
$Z_d$ (cm)	$Z_{d,min}$	8.9	17.8	26.7
	$Z_{d,max}$	13.5	27.0	33.6

现行标准中衬砌渠道的允许冻胀变形量见表 2。

表 2 允许冻胀变形量

材料类别或结构型式	混凝土板	浆砌石	沥青混凝土	U 形槽	现行规范
允许冻胀变形量 (cm)	0.5~2.0	1~3	3~5	4~5	SL 23
	0.5~2.0	1.0~3.0	3.0~5.0	—	SL 18
	0.5~3.0	1.0~5.0	3.0~6.0	4.0~8.0	SL 211

从表 2 可以看出，混凝土板衬砌的渠道对冻胀变形量最敏感，其最大允许位移值为 3.0cm。最大允许位移值所对应的冻深在 10~20cm 之间。因此，本次修订将适用范围确定为冻深大于 10cm 的地区衬砌渠道。

因材料冻融、冰压力等作用引起的冻害问题可参照《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL 211—96) 等标准执行。

### 1.0.3 渠系工程抗冻胀设计的主要技术要求有：

(1) 结合抗冻胀要求选择渠道线路或构筑物地点，并进行必要的技术经济论证。

(2) 对抗冻胀设计所需的基本资料进行调查、收集，通过计算和必要的试验确定冻结和冻胀的基本参数，判定地基土的冻胀性类别。

(3) 对冻胀作用下各类构筑物的位移、强度及稳定性进行验算，确定抗冻胀措施。

(4) 合理选择满足抗冻胀要求的工程布置、结构型式和技术措施。

(5) 提出施工工艺及管理运用等方面的抗冻胀要求。

抗冻胀的工程措施主要有下列几项，可采取其中任一项或几项：

(1) 削减或消除基土的冻胀作用，包括用非冻胀性土置换、防渗、隔水和排水、保温、增大地基的荷载等；

(2) 采用适应冻胀变形能力强的结构型式或尽量减少构筑物和冻土的接触面积；

(3) 加强地基对构筑物基础的锚固作用。

## 3 基本参数的确定

### 3.1 冻结深度

**3.1.1** 由于工程所在地一般没有长系列的冻深观测资料，其冻深只能借助邻近气象台（站）的资料，要求邻近的气气象台（站）与工程地点应有相近的气温条件。

本条有关统计资料系列年限的规定，考虑了我国气象台（站）的冻深观测系列已经较长，比原规范编制时长了20年，能够满足精度要求。因此，本次修订规定资料系列不宜短于20年。

**3.1.2** 对于一些小型农田水利工程，附近可能没有条件相似的气气象台（站）冻深资料。本标准参照《冻土地区建筑地基基础设计规范》（JGJ 118—98）等，给出了我国北方季节冻土区标准冻深线图（图1），供设计人员参考。最大冻深值可取图中的标准冻深值。

**3.1.3** 工程设计冻深是指在设计条件下，构筑物各部位的冻深。对于倾斜表面，按法线方向计算。

大量的观测资料表明，影响构筑物各部位冻深的因素很多，主要有地下水埋深、表面接受的日照和遮阴程度、表面积雪和基土土质等。其中表面积雪厚度的年际变化较大，同时积雪的影响不仅与厚度有关，还与积雪的时期有关，较难掌握，为安全起见，本标准未考虑积雪对冻深的削减作用。

在原标准中，设计冻深是由标准冻深乘以频率修正系数、日照及遮阴程度的修正系数和地下水影响系数求得的。而标准冻深的取得，除可按邻近气象台（站）的实测资料统计外，还可按经验公式（如斯蒂芬公式）计算。但多年的实践证明，该经验公式适合于较大冻深地区，对于小冻深地区，计算结果与实测值的误差较大。考虑到目前各地的冻深实测资料较多，基本能满足工程设计的需要，所以修订后的标准不再推荐按经验公式计算冻深的

方法，而直接采用冻深的实测资料。

**3.1.4** 土的冻结深度与日照条件和遮阴程度密切相关。实践表明，工程各部位受到的日照及遮阴程度不仅随工程地点的地理纬度、海拔高度、地形条件而变化，而且随工程走向和断面型式不同也有很大的差异。国内一些单位曾提出考虑日照和遮阴程度的冻深修正系数。如原水利部西北水利科学研究所和陕西省气象局在我国冻土区内选取了 229 个主要气象台（站）的 30 年系列气象资料，并根据各台（站）所在的地理位置，对不同走向和断面型式的渠道各部位的  $\psi_a$  值进行了计算。通过对获得的 164880 个  $\psi_a$  值进行相关分析，得出了确定  $\psi_a$  值的简便取值方法及所需的图表，成果相对误差小于 5%，其精度可满足工程设计要求。本标准采用了该研究成果。由于所得成果是按平原渠道计算的，故渠道两岸高差较大，或构筑物上部结构有遮阴作用时，应考虑额外的遮阴影响。

**3.1.5** 地下水对冻结区的水分补给对冻深的发展起阻滞作用，地下水水位愈高，这种作用愈大。我国东北和西北的水利科学研究院（所）均对此作了研究，并提出了相应的地下水水位对冻深的影响系数或关系式，而且相互间比较接近。由于本规范中赖以计算设计冻深的最大冻深取邻近气象台（站）观测的多年最大值，而气象台（站）场地的地下水水位又影响其本身的冻深值，因此在确定工程地点的地下水水位影响系数时，还考虑了邻近气象台（站）的地下水水位对冻深的影响。

**3.1.6** 地基土设计冻深包括构筑物基础下地基土和挡土墙后填土的冻深。由于底板或挡土墙的隔热作用，板下（墙后）地基土的冻深比天然地表的设计冻深要小。其差值与底板（墙）的材质和厚度有关，并可用热阻的大小来表示。本条的式（3.1.6-1）是按底板（墙）的热阻与地基土不发生冻结时的设计热阻之比得出的。

底板（墙）的热阻与其厚度有关，厚度越小，其影响也越小。为简化计算，通过计算比较和已有观测资料确定当  $\delta_c \leq$

0.5m 时，可按式 (3.1.6-4) 计算。两种计算结果相差一般在 5cm 之内。冻深较小和板厚较大时相差大些。应用时宜加以考虑。

## 3.2 冻胀量

**3.2.1** 地基土的冻胀过程十分复杂，迄今为止，现有的许多计算冻胀量的理论和经验公式都存在一定的误差。因此，对于重要的构筑物，要求冻胀量应尽可能通过现场试验确定。但因现场试验周期长，年际变化很大，要提高其可信度需要有很长的系列资料，并且在同一构筑物中不同部位土体的冻胀条件都存在着差异（特别是渠道沿线土质、地下水条件等变化更大），除特殊情况（如在工程开工前若干年便在工程地点设站实测冻胀量）外，要求通过现场模拟试验以确定工程各种条件下的冻胀量是难以做到的。因此，本条规定，对 1、2、3 级构筑物，应尽量通过现场原型试验确定冻胀量。在确无条件进行现场原型试验时，可参照本标准推荐的方法确定冻胀量，且宜采用其他计算方法进行复核。

**3.2.2** 原规范对于土的冻胀量计算，推荐了两种计算方法：一种是统计法，根据我国北方季节性冻土地地区的大量实际观测资料，建立起冻结指数或冻深与土的冻胀量的关系；另一种是经验公式，由辽宁省水利水电科学研究院根据多年的冻土试验观测成果总结得出。原规范要求同时采用两种方法计算，并建议选用计算结果的大值。

本次修订过程中，对于土的冻胀量计算问题进行了重点研究，认为原标准中同时采用两种公式，在有些情况下两种计算结果相差较大，设计人员难以取值。所以，经过认真研究，对于每种土质采用一组曲线，建立冻深与冻胀量的关系。

**3.2.3** 当构筑物基础埋深较浅时（小于工程设计冻深），基础下会有冻土层产生。在冻深较大地区，考虑经济合理性，水工建筑物的很多结构部位的埋深小于设计冻深，因此存在基土的冻胀问题。此时的冻胀量  $h_f$  即为基础结构下厚度为  $Z_f$  的冻土在无荷载



作用的情况下所产生的冻胀量。

### 3.3 土的冻胀性及地基土的冻胀级别

**3.3.1** 土在冻结时体积的稳定性对工程实践有重要意义。如：作为抗冻胀措施之一的非冻胀性土置换冻胀性地基，便要求对“冻胀性土”或“非冻胀性土”给出定量的评价指标。国外的“土的冻结敏感性”研究和国内的“土的冻胀性分类”研究都涉及到这个问题，各种研究成果逾百种。其中，对易于形成冻胀机制的颗粒尺寸有比较共同的认识，国内多认定为 0.005～0.05mm，国外多认定为 0.074～0.02mm；但在颗粒含量的数额限定上出入较大。如：有的资料（Delewdre, 1963 年）认为小于 0.074mm 颗粒含量占 35% 以下无冻胀危险；有的资料（瑞士, 1975 年）认为小于 0.02mm 颗粒含量大于 3% 便经常发生冻害。我国《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTJ 024—85）中规定：粉、黏粒含量小于或等于 15% 属不冻胀土；《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2002）中规定：粒径大于 0.1mm 的颗粒超过全重 85%、冻结期地下水与冻深的距离大于 1.5m 时属不冻胀土。原哈尔滨建筑工程学院资料（王正秋, 1983 年）提出：对细砂，黏粒小于 1%、黏粒加粉粒不大于 5% 属不冻胀土；对碎石土、砾砂，粗、中砂，小于 0.05mm 颗粒含量不大于 5% 属不冻胀土。

鉴于水工建筑物地基常在浸水条件下工作，有形成强烈冻胀的水分条件，但对渠系工程又不能限定太严，故对冻胀性土或非冻胀性土做了如下规定。非冻胀性土：粒径小于 0.075mm 的含量不大于 10% 的粗粒土；冻胀性土：细粒土以及粒径小于 0.075mm 的含量大于 10% 的粗粒土。

**3.3.2** 本规范对土的冻胀性分类采用了黑龙江省水利科学研究所和辽宁省水利水电研究院的研究成果。这种分类方法的要点是：

(1) 以冻胀量绝对值的大小作为划分冻胀性强弱的惟一指

标，对应于某个类别的冻胀有一定的冻胀量值，通过与构筑物允许变形值比较，可对地基土冻胀时给工程可能造成的危害程度做出定量评价。

(2) 在确定划分冻胀类别指标——冻胀量的计算公式中，同时考虑了影响冻胀的各类因素（温度、土质、土的含水量、地下水条件等），使土的冻胀性分类方法能直接应用于工程实践。

(3) 在我国 JTJ 024—85 和 GB 50007—2002 中，按土质（颗粒成分）、含水量和地下水条件，前者把冻胀性分为冻胀或不冻胀两类，后者分为不冻胀、弱冻胀、冻胀和强冻胀四类。鉴于水利工程的地基土常因水分条件充足形成强烈冻胀，故本规范的分类方法把冻胀性类别划分为 5 级（连同非冻胀性土的规定应为 6 个级别），反映出了水利工程地基土冻胀量绝对值大和变化幅度大的专业特点。

(4) 本分类方法所用资料的地理区间为北纬  $36^{\circ} \sim 50.2^{\circ}$  范围，基本上覆盖了我国季节冻土的平面分布区域（高山冻土区除外），可认为有普遍实用价值。

多年工程实践证明，本分类方法在冻胀量档次划分上是合适的。

### 3.4 冻胀力

**3.4.1** 切向冻胀力是基础周围的土体冻胀时，由于受到基础的约束而作用于基础侧表面的上拔力。“冻胀”和“约束”是产生切向冻胀力的必要和充分条件。基础与地基土之间的冻结力是基础对周围土体的冻胀施加约束的媒介，也是切向冻胀力的等效值。

单位切向冻胀力值与基础侧表面的粗糙程度及材质有关，本标准给出的单位切向冻胀力值适用各种圬工基础、钢筋混凝土钻孔灌注桩和木桩等。

国内外对季节冻土区基础侧表面单位切向冻胀力的研究较少，前苏联、加拿大等国作了一些小桩径的切向冻胀力试验研

究，但基土的冻胀性都比较弱。国内的研究工作主要集中在黑龙江省水利科学研究院、黑龙江省寒地建筑科学研究院、黑龙江省交通科学研究院及水利部松辽委水利科学研究院等几个单位。公路和工业民用建筑行业已给出了本行业的切向冻胀力值。但是，由于各类工程所处的水文地质条件相差较大，尤其水工建筑物的地基土常因饱水而形成强冻胀，借用其他行业技术标准并不完全适用。为了给我国季节冻土地区的水工建筑物抗冻胀设计提供可靠的切向冻胀力值，黑龙江省水利科学研究院从1978年起对切向冻胀力做了大量的室内外试验，如：

(1) 室内切向冻胀力试验成果见表3。不同几何比例尺的单位切向冻胀力值相差较大。室内模拟试验的切向冻胀力值与野外原型的切向冻胀力值不是1:1关系，其试验值尚不能应用于工程实际。

表3 室内试验  $\tau_i$  值

几何比尺	1:2		1:4		1:10	
单位切向冻胀力 $\tau_i$ (kPa)	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值
	381	84	430	50	86	32

(2) 万家冻土试验场的原型试验结果：万家冻土试验场地表至30cm土层的平均单位切向冻胀力为180~200kPa，全冻深平均单位切向冻胀力为50~70kPa，冻胀量为16~20cm，呈“上大、下小”型分布。

(3) 巴彦冻土试验场的原型试验结果：巴彦冻土试验场地表总冻胀量16~18cm，实测单位切向冻胀力为90~140kPa。

(4) 庆安冻土试验场地表总冻胀量为28~32cm，实测单位切向冻胀力为198~210kPa。

由于试验条件和结构条件的差异，上述各试验所得的结果相差较大。其中较大的影响因素为结构表面的光滑程度。根据不同水土条件、不同冻胀条件的试验场的多年原型试验结果，并参照

已有标准确定了表 3.4.1 的单位切向冻胀力值。该值是在结构表面平整、光滑的条件下的取值，对于结构表面粗糙，但无凹凸面时，表中数值应乘以 1.2 的系数。

**3.4.2 地基土冻胀时，因受基础约束而垂直作用于基础板底面上的力定义为法向冻胀力，凡基础埋置深度在冻层之内且地基属冻胀性土时，都会因基土冻胀产生法向冻胀力。**

在水利工程中，一些非承重或护面式结构（如铺盖板、护坦板、渠道衬砌板等），要其埋置深度在冻层之下是不现实的。为验算其在法向冻胀力作用下的稳定性，尤其为面大量广的小型涵闸做到基础合理浅埋，迫切需要为设计部门提供法向冻胀力指标。难点在于，国内外对此项研究成果所提供的数据相差太悬殊，最小者不足 100kPa，最大者竟达 5600kPa，从而使设计人员无所适从。

黑龙江省水利科学研究院 1977~1985 年通过大量的室内试验，尤其是野外原型试验（包括目前国内最大的 3m×3m 大型载板试验）表明，法向冻胀力的大小取决于基础板的约束程度和地基土的特性（冻胀性及其可压缩性）。若把基础板视作刚体，则当法向冻胀力大于地基土的前期固结压力时，会使地基产生排水固结，法向冻胀力的极大值不应超过地基的极限承载力；当法向冻胀力小于地基土的前期固结压力时，法向冻胀力的大小取决于基础板所受的约束力；一旦基础产生上抬变形，法向冻胀力值也随之衰减。

试验结果还表明，法向冻胀力随载板面积的增大呈指数规律衰减并趋于常值；在载板面积小于 2m<sup>2</sup> 范围内，法向冻胀力值变化剧烈。

表 3.4.2 中给出的单位法向冻胀力值  $\sigma_v$ ，是在不考虑基础位移时，对应一定冻胀类别和载板面积可能产生的法向冻胀力极大值。它是根据黑龙江省水利科学研究院的实测资料和国内外有关成果的综合分析给出的。

在应用表 3.4.2 时，同一冻胀级别中，表中数值应先按冻胀

量内插，再按基础板面积内插。

例如，经计算冻胀量为 15cm，单块基础板面积为  $75\text{m}^2$ 。根据表 3.3.2 可知冻胀级别为 IV 级。又根据表 3.4.2，先按冻胀级别 IV 级，单块基础板面积分别为  $50\text{m}^2$ 、 $100\text{m}^2$ ，内插出冻胀量为 15cm 的单位法向冻胀力分别为 148kPa 和 115kPa。再内插出单块基础板面积为  $75\text{m}^2$  的单位法向冻胀力为 131.5kPa。

**3.4.3 水平冻胀力**是指挡土墙后或基础侧面的土冻胀时水平作用在墙或基础侧面的作用力。在冻结周期内的不同时间和沿墙高的不同部位的单位水平冻胀分布不同，因此本条中规定取沿墙高的最大单位水平冻胀力为设计值。国内曾进行水平冻胀力现场试验的单位及试验项目主要有水利部东北勘测设计研究院的长春地区西新和向阳模型挡土墙工程、原铁道部西北科研所的风火山试验挡土墙工程、黑龙江省水利水电勘测设计研究院巴彦东风水库挡土墙工程、吉林省水利科学研究院和水利部东北勘测设计研究院的东阿拉和大安屯锚定板挡土墙工程、黑龙江省水利科学研究院的万家冻土实验站和海林新安挡土墙工程。试验观测时间最长的达 6 年。本条中表 3.4.3 给出的单位水平冻胀力值，是在上述试验研究中所获 80 组实测资料的基础上，以合力相等和力矩平衡并保持最大单位水平冻胀力作用点不变为原则，对分组资料进行线性简化后得出的。

## 4 抗冻胀计算

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 渠系工程常见的基础结构型式有：渠道衬砌、桩墩基础、板型基础和挡土墙。由于各自不同的结构特点，抗冻胀计算的内容也不相同。渠道衬砌的冻害，主要是因渠床土冻胀造成衬砌体不均匀变位过大所形成的，加之衬砌普遍具有体积小、自重轻、所受约束力小等特点，难以抑制冻胀力而遭破坏，故选择冻胀位移量为主要控制指标；对其他建筑物，外荷载对冻胀有一定的抑制作用，而冻胀可能对其结构稳定和强度产生影响，因此应对结构稳定性、位移量和强度等进行验算。

**4.1.2** 土在冻胀时施加给基础或约束物的冻胀力，不仅在数值上与融土不同，而且在作用方向、性质等方面也不一致。如在融土中的摩擦承重桩，当土冻胀时，会受到切向冻胀力的上拔作用。在此力的作用下虽可增加冻结期桩基的承载力，但往往会造成桩基冻拔失稳，甚至因桩强度不足而被拉断。又如挡土墙后的回填土，在冻结条件下会形成一个整体，使融土期的主动土压力消失；对于冻胀性土，会形成数值量级和沿墙高分布都与融土完全不同的水平冻胀力“荷载”。这些冻胀力是周期性的、长期的作用力。因此，本条规定了在季节冻土区的渠系工程设计中，应将各种冻胀力视为基本荷载参加荷载组合。

### 4.2 衬砌渠道

**4.2.1** 渠道衬砌较薄，采取抵抗性措施难以达到防冻害的目的，而从适应、回避、削减或消除冻胀等方面选用措施，较为经济合理。我国北方地区大量实测资料证明，当渠道土的冻胀位移值与衬砌允许位移值相差不大时，可通过适应冻胀位移的结构措施解决。当位移值与允许值相差过大时，应采取回避、削减或消除冻

胀的措施解决。

衬砌渠道是一种线路性工程，沿渠的土质、水分补给条件和渠道走向往往有较大的变化。土、水、温是形成冻胀差异的基本因素，对不同冻胀量的渠段可采用不同的抗冻胀措施。因此，衬砌结构抗冻胀稳定性验算应根据渠道的土、水、温的变化情况分段进行。

**4.2.2** 允许法向冻胀位移值是指衬砌板在冻胀融沉作用下，不产生累积冻胀或残余位移的允许值，产生此值时渠道衬砌仍能满足设计和正常运用的要求。

渠道衬砌结构的允许冻胀位移值与衬砌板块的大小、衬砌板块间的约束程度、衬砌板与基土间的冻结力、冻胀不均匀度和渠道边坡基土的稳定性等有关。多数研究单位认为，用允许法向冻胀位移值作为抗冻胀设计的控制指标，是当前一个比较简单而实用的方法。表 4.2.2 中的允许法向位移值是综合我国北方各地的试验观测成果提出的。

在编制过程中，也曾考虑了另一重要控制指标，即“不均匀冻胀系数”。但因确定定量指标的依据尚不够充分而暂未作规定，有待今后继续积累资料再作修订。

**4.2.3** 同一断面的不同部位，有不同的冻胀位移量，为节省工程投资，可采用不同的抗冻措施。

在按 3.2 节计算衬砌渠道的冻胀量时，因衬砌板自重不大而且无外荷载，为安全计，除特殊情况外，可不考虑衬砌板重量对冻胀的影响，取地基土的冻胀量作为衬砌结构的冻胀位移量。

**4.2.4** 冻结期渠内有冰（水）的渠道，不论衬砌体是起防冲或防渗作用，也不论当地地下水埋深如何，均应将冰（水）面视为地下水补给面。在冰（水）面以上一定高度范围内，渠道边坡的冻深一般是一个由小到大的变化值，为计算方便和安全计，本条规定在冰（水）面以上 1.0m 范围内，以冰（水）面为地下水面计算冻深。在冰（水）面以上 0.5m 范围内渠道边坡的冻胀是很强烈的，在此范围内，结冰渠道最大冻胀量位置偏下，冬季行水

的渠道最大冻胀量位置偏上，为安全和简化计算，本条规定在计算冻胀量时，在此范围内地下水埋深取零。

### 4.3 桩、墩类基础

**4.3.1** 本条明确规定对桩、墩基础抗冻拔稳定计算时，基础工作状态为全约束，即不允许基础向上（竖向）位移。理由主要有两点：一是桩基础冻拔是连续的和不可逆的。由于受下部未冻土的摩擦力作用，一旦桩基发生冻拔，融化后不能完全复位，而残留的冻拔位移量会逐年积累。二是诸如渡槽等上部结构输水、存水的桩基础构筑物对位移和变形非常敏感，桩基的冻拔位移必然造成上部结构的开裂、漏水等，影响工程的正常使用，甚至使整座构筑物失效。

鉴于在深度季节冻土区，有的板基或墙基虽然埋置在冻深以下，但基础侧面在切向冻胀力作用下，仍可能造成冻胀破坏；此外，实际工程中还有大量合理的浅埋基础，有的允许产生一定的位移，故在本条中对受切向冻胀力作用的其他基础也做了相应规定。

**4.3.2** 在计算总切向冻胀力时，引进了有效冻深系数  $\psi_c$ ，该系数数值在 0.6~1.0 之间，其物理意义为：在土、温一定的条件下，切向冻胀力值的大小及其沿冻深的分布形式与冻结期间地下水水位变化关系很大。例如：对于黏性土，如果冻结期间地下水水位距冻结锋面的距离大于 2.0m，则地下水向冻结锋面迁移比较困难，属于封闭冻结系统，切向冻胀力仅在 2/3 冻深以上的土层范围内发生，而以下的 1/3 冻土层为“冻而不胀”区，不产生切向冻胀力。所以，在计算总切向冻胀力时，应乘以 0.6~1.0 的有效冻深系数  $\psi_c$ ，予以修正。反之，地下水水位较高，地下水补给充分，切向冻胀力发生在整个冻土层内，计算总切向冻胀力时，有效冻深系数  $\psi_c$  取 1.0。

表 4.3.2 是以冻结前期地下水水位距冻结层下限的最小距离为判定指标。表中地下水水位与冻结层底面的距离值，理论上应



取整个冻结期的平均值或最小值，但实际上大多数工程很难取得冻结期的地下水水位变化过程，所以表中采用冻结前期地下水水位代替，作近似计算。

**4.3.3** 摩阻力是克服切向冻胀力使之满足桩基抗冻拔稳定的锚固力。由于基土与桩之间的摩阻力要发挥到最大值需要一个剪切位移过程，而多数工程不允许基础有较大的上拔位移，所以在实际工程设计中，其摩阻力不应取极限值。式(4.3.3)中 $F_s$ 为设计总摩阻力，而非极限摩阻力，0.4即为桩基冻拔稳定摩阻力系数。

对于摩阻力系数的选取尚有不同的意见，一种是采用外力拔桩时的摩阻力系数0.3；另一种是采用压桩时的摩阻力系数0.5。我们认为在切向冻胀力作用下的桩基冻拔不同于外力拔桩，更不是压桩，而是属于拉桩范畴，但因冻土层对下卧暖土产生压密作用，而又与纯拉桩不同。严格地说，应通过现场冻拔桩的原型试验来确定。本标准取值0.4，实际上是采用了拉桩和压桩摩阻力系数的平均值，尚属安全。

**4.3.4** 本条是桩、墩基础满足结构整体不冻拔的条件，即：

$$P + G + F_s + \sum F_i \geq K_r m_o T$$

在切向冻胀力的作用下，桩、墩基础发生冻胀破坏时，结构的应力状态应按中心受拉考虑，上拔力为切向冻胀力 $T$ ；而向下的阻拔力包括：上部荷载 $P$ 、结构自重 $G$ 、冻结线以下基础的摩阻力 $F_s$ 和可能产生的其他阻拔力 $\sum F_i$ （如冻胀反力、作用在各种型式的扩大式基础板上的土重等）。阻拔力应取可能发生的最小值（最不利条件），如规定上部荷载只取结构的恒荷载；对于跨年度施工的结构，取入冬停工前的最小恒荷载和自重；水下部分的基础取浮容重等。

基础抗冻拔稳定计算的安全系数 $K_r$ 是参照JTJ 024—85确定的。

在基础稳定验算中引进了冻胀力衰减系数 $m_o$ 。它是根据黑龙江省寒地建筑科学研究院、黑龙江省水利科学研究院、中科院

寒区旱区环境与工程研究所、吉林省水利科学研究院和日本北海道开发局等单位的试验资料，通过综合分析得出的。当约束土体冻胀的基础沿冻胀力方向发生位移时，冻胀力将按指数规律衰减。采用上述各家资料点绘出  $[S] / h_i$  与  $m_o$  的关系曲线，其最大值的外包络线的数学表达式即为式 (4.3.4-2)。

由于各种冻胀力的本质相同，都是随形成约束力的基础位移而降低，因此计算冻胀力衰减系数的公式对法向冻胀力、水平冻胀力也适用。

**4.3.5** 当基础的下部锚固力大于冻拔力时（如埋深较大的摩擦桩或接收冻胀反力自锚的扩大式桩基础等），虽然满足了整体抗冻拔稳定的条件，但在基础的薄弱部位可能因强度不够而被拉断。本条规定了基础结构强度的验算条件。

式 (4.3.5) 中  $A_s$  为基础最薄弱断面处的截面积。若基础为钢筋混凝土构件， $A_s$  为纵向受拉钢筋的横截面积总和。

原标准中公式为： $[K_r m_o T - (P + G_i + F_m)] / A_s \leq [\sigma]$ 。  
本次按单一安全系数法修订，即式 (4.3.5)。

## 4.4 板型基础

**4.4.1** 大量的实测数据表明，同一冻胀类型、相同冻胀条件的地基，其单位法向冻胀力值随基础板面积的增大而减小，当基础板面积超过  $2\text{m}^2$  以后，单位法向冻胀力值趋于常值。在法向冻胀力的众多研究成果中，试验载板的面积绝大多数在小于  $2\text{m}^2$  范围内，各家测得的单位法向冻胀力值相差数十倍，变化剧烈。而到目前为止，大面积的载板试验成果较少，为了保证工程的安全，本条对基础板的最小面积做了限定。

实测数据还表明，载板面积相同时，单位法向冻胀力值随基础周边长度的增大而增加。例如，面积相同的矩形和圆形基础板，在其他条件完全相同的情况下，前者较后者的单位法向冻胀力值高很多。但若矩形基础板的最小边长尺寸足够大（例如大于  $2.0\text{m}$ ）时，则载板形状的影响已很微小。为安全起见，本条也

对基础板的最短边尺寸做了规定。

**4.4.2** 国内外的大量实验资料表明,当基础板由于地基土冻胀发生一定变形时,地基土作用在基础板的法向冻胀力将随变形的增大而按指数规律衰减。允许部分基础板发生适度的位移,对降低工程造价意义重大。表 4.4.2 中的允许垂直位移量  $[S]$  值,是根据水工建筑物类型、使用功能和结构材料特性等综合因素给出的。

**4.4.3** 实际工程中的基础板所受的单位法向冻胀力设计值主要受基础板的位移量、材料及其厚度的影响,式 (4.4.3-1) 中单位法向冻胀力  $\sigma_0$  是在不考虑基础板发生位移、整个设计冻深厚度内土层冻胀时可能产生的最大法向冻胀力值,所以对允许发生冻胀位移的基础板,单位法向冻胀力设计值规定同时进行位移和基础厚度两项修正;而对不允许位移的基础,  $m_0$  取 1.0。式中  $m_0$  和  $\alpha_0$  分别为基础位移衰减系数和基础厚度影响系数。

式 (4.4.3-1) 是根据基础板下冻结面基本是平面的野外实测数据归纳得出的,若基础板面积较小,冻结面为曲面则不适用,这也是标准中对基础板面积做出限定的原因之一。

当基础有一定埋深时,相当于有一定厚度的冻土层被不产生冻胀的基础板“置换”,能产生冻胀的土层厚度由原来的  $Z_d$  (即工程设计冻深) 变为  $Z_f$ ,而冻胀力减小与冻胀量减小存在一定的关系,式 (4.4.3-2) 中的  $\alpha_0$  即为法向冻胀力的减小系数。

**4.4.4** 板型基础的抗冻胀稳定性在垂直方向的总原则是,垂直方向冻胀力应小于约束力。式 (4.4.4-1) 表明,当基础有一定埋深时,冻胀力由法向和切向两部分组成;若有垂直方向位移,将按式 (4.3.4-2) 的规律衰减。

在验算板型基础的稳定时,对允许冻胀位移的基础板应同时满足式 (4.4.4-1) 和式 (4.4.4-2),以确定垂直方向冻胀位移量是否满足结构安全的要求。

稳定安全系数  $K_0$  的取值,是参照 JTJ 024—85 给出的。

## 4.5 挡 土 墙

**4.5.1** 挡土墙后的土体受来自垂直地表和墙体两个方向负气温作用而处于双向冻结状态。由于冰晶的增长方向垂直于等温线，因此外露墙体的高度和厚度均直接影响到水平冻胀力沿墙高的分布形式。目前已有的试验研究资料基本上是在墙高均未超过 5.0m 的薄壁式挡土墙条件下取得的。因此，规定本节的计算适用于冻深大于 0.3m，墙前地面至墙后填土顶面之间的高度不大于 5.0m 的薄壁挡土墙。

**4.5.2** 多年来，国内有关单位进行过很多挡土墙水平冻胀力的观测研究。例如黑龙江省水利科学研究院在哈尔滨试验场的实体和模型挡土墙工程，吉林省水利科学研究院和水利部东北勘测设计研究院进行的东阿拉和大安屯两处锚定板挡土墙工程，水利部东北勘测设计研究院做的长春地区西新和向阳模型挡土墙工程，黑龙江省水利勘测设计研究院做的巴彦县东风水库挡土墙工程和原铁道部西北研究所风火山冻土站的现场实体挡土墙和模型挡土墙工程。这些挡土墙的高度范围为 1.6~4.6m，分析这些试验和观测所得的 80 组资料表明，在墙顶一定范围内不存在冻胀力或冻胀力很小，最大单位水平冻胀力出现在墙前地面以上一定高度处，水平冻胀力沿墙高的分布多数呈近似三角形。因此，为简化计算，对水平冻胀力的分布采用与实测压强图的冻胀力矩平衡、合力相等、最大单位水平冻胀力作用点不变的原则，并考虑墙前冻土压力后简化为图 4.5.2 所示的三角形单位水平冻胀力压强分布图。

根据现有的试验结果，以挡土墙后回填土的冻胀性级别为划分标准，统计出了非冻胀区深度系数  $y$ ，其平均值见表 4.5.2。

**4.5.3** 本条中的水平冻胀力是按上述三角形分布算得的合力值。水平冻胀力的设计值应取其标准值与各类修正系数的乘积。

黑龙江省低温建筑科学研究院、黑龙江省水利科学研究院、中科院寒区旱区环境与工程研究所、吉林省水利科学研究院和日

本北海道开发局等国内外试验资料表明，当约束土体冻胀的结构沿冻胀力方向发生位移时，冻胀力将按指数规律衰减。式(4.5.3-2)是按上述各单位相对变形量与冻胀力衰减关系的外包线得出的。

式(4.5.3-2)中的允许水平位移值 $[S']$ 是根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)悬臂构件的允许挠度确定的。

**4.5.4** 因挡土墙外露墙高以下墙体皆埋在冻土层内，外露墙底部是最危险断面，故选作抗冻胀强度的验算断面。

在计入冻胀力后，挡土墙的整体稳定和结构强度的验算与常规设计相同，可按《水闸设计规范》(SL 265—2001)和GB 50010—2002等现行标准进行计算。

## 5 抗冻胀结构及工程措施

### 5.1 衬砌渠道

**5.1.1** 渠道衬砌体因无附加荷载而对渠床冻胀非常敏感。我国西北、华北和东北地区的大量实测资料表明，当渠道的冻胀位移值与允许位移值相差不大时，可通过适应冻胀位移的结构措施解决；当其冻胀位移值与允许位移值相差过大时，应采取回避或削减冻胀的措施解决。

**5.1.2** 当渠道的冻胀位移值略大于允许位移值（一般在 2 倍以内），及渠床土的冻胀级别在Ⅱ级以下（最大冻胀量小于 5cm）时，通过本条推荐的 5 项措施是可以满足抗冻胀要求的。本条中的第 1 款是利用结构受力特点抵抗冻胀变形的结构措施；第 2 款和第 3 款是兼有抵御和适应冻胀变形两种能力的结构措施；第 4 款是回避冻胀变形的结构措施；第 5 款是适应冻胀变形能力的措施。本条较适用于冻深在 100cm 左右的季节冻土区。

**5.1.3** 本条规定适用于渠床土的冻胀性级别高于Ⅲ级的渠道。第 1 款所列的措施削减了渠底冻胀作用、限定了槽侧回填土高度，是兼具削减和回避冻胀作用的结构措施；第 2 款所列的措施是抵御和适应冻胀变形的结构措施；第 3 款所列的措施属于“回避”冻胀措施，可彻底消除冻胀破坏；第 4 款所列的措施减小基础的冻胀作用。但第 2 款所列的措施和第 3 款所列的措施的工程量较大、造价较高，非特殊必要，宜慎用。

**5.1.4** 分缝是渠道衬砌结构适应、削减冻胀变形的关键措施。渠道衬砌板（块）的隆起、架空是冻胀破坏的主要形式之一。已有的现场试验观测结果发现，渠道边坡冻胀时发生坡长缩短是产生这种现象的一个原因。因此，要求沿渠道周边的分缝要有一定的宽度和适当的间距，以便通过缝宽的调整满足缩短量，防止板块间相顶而造成的隆起、架空现象。本条中规定的缝型、缝宽和

缝的间距是根据国内外工程实践经验提出的。纵向缝数可参照本条规定的纵缝间距和缝宽尺寸范围，依据渠周冻胀后的几何缩短量试算确定，渠周冻胀后的几何缩短量可根据渠道断面尺寸和冻胀量分布情况通过计算求得。有的单位提出估算纵缝数的如下经验式 [见式 (1)]，据此确定缝距的方法，可供参考。

$$j \geq \Delta L / (\Delta b - 15) \quad (1)$$

式中  $j$ ——纵缝数；

$\Delta L$ ——渠周几何缩短量 (mm)；

$\Delta b$ ——缝宽 (mm)。

本条中填缝止水材料性能的要求是保证夏季最高气温且受阳光直射下不流淌，冬季最低气温下仍具柔性，能适应上述渠坡长度冻胀变化时缝宽的伸缩变化而提出的。

**5.1.5** 采用本条作为渠道抗冻胀措施时应注意下列各项：

(1) 应保证置换层在冻结期不饱水或有排水出路。

(2) 应严格保证置换土料的非冻胀性和防止在使用期间受细颗粒淤塞。

(3) 渠道是线路性的工程，置换量过大不一定经济可行。

**5.1.6** 本条是通过降低渠床土的含水量以削减冻胀的措施，也是保证置换层能有排水出路的方法。采用本条措施的关键是准确掌握当地的水文地质资料，搞好排水设施（盲井、暗管、反滤体）的设计，并能保证其长期正常工作。

**5.1.7** 采用聚苯乙烯泡沫塑料板等保温材料进行保温，削减或消除渠床土的冻胀，具有施工简易、效果明显、造价较低等特点。对于小型渠道，可按 1cm 厚的保温板可减少 10~15cm 冻深估算，这是通过热工计算和实际工程验证过的，其精度可满足工程实际要求。

**5.1.8** 采用不透水材料隔断水分，使冻结前土中含水量尽可能降低或冻结期间不致形成强烈的水分迁移、集聚，可降低冻胀量的 30%~100%。这种措施的关键是确保施工期间膜料不被刺穿。 $Z_0$  为地下水对冻结层无显著影响的临界深度，地下水水位

距离冻结峰面大于  $Z_0$  时, 才适合采用该措施, 这时, 地下水水位距离渠底应为  $Z_0 + Z_d$ 。

本条规定的衬砌体与膜料之间用水泥砂浆或砂砾石, 对于渠道比降较陡、过水流速较大的情况, 应采用水泥砂浆; 而对于过水流速较小的渠道, 可采用砂砾石或粗砂做过渡层。

**5.1.10** 土质渠道或以土石料护面的埋铺式膜料防渗渠道的边坡常因基土冻融作用在春融期间发生滑坍, 以致实际存在的稳定的断面形式大致都是弧形、弧底梯形、弧形坡脚梯形, 其宽深比都大于 1, 所以本条作出相应的规定。

**5.1.11** 渠床属强冻胀性的土质渠道, 在融化期, 坡面表层融化后, 土体中的水分不能渗入尚未融化的冻结层而滞留在冻融界面, 形成抗剪强度很低的超饱和土层, 致使融化土体可能沿此界面下滑, 并出现逐层下滑塌坡。为防止边坡在融化期出现这种滑塌, 本条规定应进行边坡稳定性验算, 除放缓边坡外, 还可采用换填、排水、支挡等综合性工程措施。这些措施, 曾在内蒙古自治区和吉林省试用过, 都取得良好效果。

## 5.2 桩、墩类基础

**5.2.1** 在桩、墩类基础不满足抗冻拔稳定要求的情况下, 要依据所设计的基础型式和当地的水文地质条件, 采取相应的抗冻胀结构和工程措施。当阻拔力与冻拔力相近或稍小于冻拔力时, 可适当加深基础或增大锚固头水平方向的尺寸, 以增加阻拔力来满足基础抗冻拔设计稳定要求。因地基或施工条件限制, 增加基础埋深或扩大锚固头有困难时, 可采用削减切向冻胀力措施, 如在冻层范围内的基础表面做涂层处理、外包薄膜处理, 增加光滑度等。

经处理后的基础切向冻胀力可部分或大部分被削减掉。涂层处理措施适用于预制混凝土桩, 经涂层处理后, 可削减切向冻胀力值 30%; 对于钻孔灌注桩, 应特别注意冻层范围内柱体外壁的平整光滑, 可采用钢模或预制管做模板浇注, 与钻孔直接浇注



相比,可减小切向冻胀力值 50%左右。但应注意,采取基础表面处理后,计算桩基承载力时,冻层范围内的摩擦阻力不应计入。

对于锚固基础,因结构自身有抗冻拔能力,抗拔稳定一般能达到设计要求,但应验算抗拔强度,以防桩基强度不足被拔断。

**5.2.2** 置换法是基础抗冻胀的一项常用的工程措施,但在实际运用中,常因适用条件、施工不当,使置换效果不佳或完全失效。

采用置换措施,要结合当地的水文地质条件进行,除将冻胀性土换成非冻胀性土外,应设置排水出路,使换填材料中的水分在冻结前排出,这是置换法能起抗冻胀作用的保证。此外,还应注意置换层的防护,可用土工织物防止细粒土入侵;对有抗冲刷要求的,应设置防冲护砌。

**5.2.3** 本条是对冻层范围内的基础侧表面做涂层处理的规定,目的是减少基础与地基间的冻结力。涂层材料常用憎水性材料,如沥青、糠醇树脂、环氧树脂等。

**5.2.4** 防止桩基冻拔的结构措施主要有增加桩基入土深度和采用扩大式锚固基础两种。前者是利用融土的摩擦阻力,后者是利用基础上的土重或冻胀反力来克服切向冻胀力,保持桩基的稳定。

扩大式桩基础的型式很多,应根据具体使用条件选用。例如,锚固底梁基础除能增加结构的抗冻拔稳定性外,还能增加结构的横向稳定;爆扩桩基础较适用于地下水水位较低的黏性土(易成孔);锚固环式基础适用于已经冻拔的灌注桩基础桥、渡槽等工程的维修。但任何种类的扩大桩基础,其扩大基础板顶面埋深都应大于当地工程设计冻深。在此前提下,为了接受更多的冻胀反力,应使扩大板顶面尽量接近工程设计冻深。

### 5.3 板型基础

**5.3.1** 本标准所指的板型基础是坐落在冻土层中受到法向冻胀

力作用的基础。因此，对经过抗冻胀计算不能满足要求的基础板，本节重点规定了置换、隔层封闭、保温、排水等消除或削减地基土冻胀的措施。

在抗冻胀设计中，应首先考虑采用抗冻结构措施，如“一字闸”、“筛网消能工”、“反拱底板”、“枕梁桥”等。只有当条件不允许或采用结构措施不够经济合理时，才采用置换、隔层封闭、保温、排水等措施。

**5.3.2** 本条规定采用有效冻深系数对冻深进行修正后作为置换深度，是指把天然地基中发生冻胀变形的部分冻土换掉，留下部分应属“冻而不胀”区，不需置换。

从基础侧面向外加大 0.5m 的平面置换范围是根据工程实践经验确定的，其作用是消除基础边缘附近地基土的附加冻胀力对基础稳定的影响。

基础板下采用置换措施后，还要注意基础侧面切向冻胀力对基础稳定的不利影响。置换层应有防止细颗粒侵入的措施，并有排水出路，保证置换层发挥抗冻胀作用。

**5.3.3** 本条规定的封闭地基平面范围与置换措施中的理由相同。采用隔层封闭地基后仍需考虑基础侧面消除切向冻胀力作用的措施。由于限定封闭土体的含水量低于塑限含水量，外水被隔绝，冻胀量很小，其抗冻胀效果显而易见，关键是保证封闭膜不被刺穿或破裂。

隔层封闭地基中隔层的作用是：一旦在某层发生意外破损而透水时，对其他封闭土层无影响；把回填土分层隔绝，在冻结层土体内部避免因水分迁移形成集中聚冰，以减少土体总冻胀变形；此外，还附加有保温作用。

每个隔层厚度 30~50cm 是由构筑物重要程度、封闭地基总厚度及技术经济比较而确定的经验数据，对抗冻胀要求高的重要构筑物，每层厚度应选小值。

基础厚度折减系数 0.35 是指基础的保温效果与天然地基土的保温效果等效时对基础厚度的折减。也就是从保温效果来说，

同厚度的基础与土层对减少基础下冻土层不是等效的。热工计算表明，混凝土及石材的热阻约为黏性土的 0.35，所以规定基础板厚度折减系数为 0.35。

**5.3.4** 目前水利工程中所使用的基础保温材料大部分是聚苯乙烯泡沫塑料板，这种材料的化学性能稳定，不易被地基土降解，吸水和透气率低，导热系数小，隔热效果好。生产工艺简单，产品系列广泛，压缩强度为 60~400kPa，适应大部分水利工程的需要。

工程设计中，首先应根据具体工程部位的荷载情况选择保温材料的等级，主要指标为压缩强度和表观密度，然后根据工程地点的多年平均冻结指数和保温材料的导热系数，采用附录 A 中规定的方法计算实际工程所需保温板厚度。

**5.3.5** 蓄水保温法中经验系数 0.6 的取值是根据实践经验确定的，一些地区的观测资料表明，水库冰冻的厚度一般是大地冻深的 0.5~0.6，所以该经验系数取 0.6。

## 5.4 挡 土 墙

**5.4.1** 挡土墙冻害防治的要求与其他结构的冻害防治要求相似，基本上可归纳为结构措施、削减或消除土的冻胀性措施及综合措施。

(1) 结构措施：指选择在整体布置上可减少总冻胀力、能改变应力集中点、允许变形量大、结构强度高和稳定性好的结构型式，以达到防止冻胀破坏的目的。

(2) 削减或消除土的冻胀性措施：指采用改变影响土的冻胀性最主要的水、土、温、压条件，从而削减或消除土的冻胀性的措施。

(3) 综合抗冻措施：指采用两种或两种以上方法综合防治冻害的措施。

**5.4.2** 由于挡土墙水平冻胀力值的大小与墙体允许水平位移量的大小成反比关系，所以允许位移量大的挡土墙对削减水平冻胀

力有利。在各类挡土墙的结构型式中，以悬臂式结构的允许变形量最大，因此，有抗冻要求的挡土墙墙身优先选用悬臂式；基础优先选用条形板式基础，有利于减少基础工程量，而且可利用冻胀反力提高挡土墙的垂直抗冻稳定性。

**5.4.3** 按非抗冻设计的挡土墙要求设置排水孔是为了减少墙后的水压力，以达到减轻设计荷载的目的；从抗冻胀角度，这有利于疏干墙后土体，减小水平冻胀力。当墙后土体的冻胀级别为Ⅰ、Ⅱ级时，按非冻土设计的挡土墙排水孔便可满足要求。本条对排水孔构造上的要求与一般构造要求相同。

常用的排水方法有底部排水、墙背排水、倾斜排水和水平排水4种形式，其中倾斜和水平排水对墙体的防冻害效果较好。

**5.4.4** 挡土墙背侧与土接触面的光滑平整和涂沥青防水材料，可以减少土体与墙体的冻结力，从而减少切向冻胀力，有利于墙体垂直抗冻胀稳定。

**5.4.5** 挡土墙后置换的非冻胀性土，粒径大、渗透性强，不利于水工防渗，在采用置换措施时，应注意满足渗径及防渗要求。置换范围是按压强分布图形并考虑砂石料的冻结深度较黏性土一般增加20%而确定的。

置换断面按下列3项规定确定：

- (1) 墙顶置换宽度大于或等于50cm。
- (2) 自墙顶至 $0.5H_w$ 处的置换宽度取 $1.2Z_d$ 。
- (3) 墙基处置换宽度为 $0.5Z_d - \delta$ ， $\delta$ 为墙基处墙的厚度。

**5.4.7** 挡土墙的保温措施是利用保温材料改变负温与土体的热交换条件，减少土的冻结深度或改变墙后回填土的温度场，从而达到削减土体冻胀的方法。

(1) 保温材料的选择：通常选用国内外常用的聚苯乙烯泡沫塑料板。

(2) 保温层铺设的形式：可采用单向或双向保温两种形式。单向保温措施是将保温板沿墙体背面铺设，使垂直墙体方向的热交换减少，其理想状态是改双向冻结为垂直地面方向的单向冻

结；双向保温措施是除在墙体背面铺设保温板外，沿墙后地表面下也铺设一层保温板，达到双向削减墙后土体冻结深度的目的，以削减水平冻胀力对墙体的破坏作用。

(3) 保温板尺寸的确定：

——保温板厚度按本规范附录 A 推荐的方法计算确定，对小型渠系工程，可按  $1/15\sim 1/10$  的工程设计冻深确定。

——保温板高度按挡土墙后回填土的顶面高程减去 20cm 确定。

——水平及侧向保温板的长度，为消除周边土冻胀对保温段的侧向影响，可取 1.1~1.5 倍的工程设计冻深，对不完全消除墙后土体冻结的保温措施可取小值。

## 5.5 其他抗冻胀工程措施

**5.5.1** 渠系建筑物大多数规模较小，荷载及结构尺寸也小，各部位基础埋深不大，如果地基土为冻胀性土，在寒冷地区，一般结构型式很难满足抗冻胀稳定要求。下面几种结构型式，包括一字闸、筛网消能工、竖井式跌水、井柱式泵房等，是经过长期工程实践检验，具有抵抗冻胀力或适应冻胀变形的典型结构，经济、适用，可供实际工程借鉴。

**5.5.2** “一字闸”是为减少构筑物与地基土接触面积以削减冻胀作用，将常规平面布置水闸中的进口段和控制段的平面板型基础改为竖直的“一”字形立板基础或沉箱基础。

(1) 一字闸的主体部分为一字板，其他部分如工作桥、人行桥、筛网消能等均设置在一字板上。一字闸设计的关键是一字板的设计。

上、下游跌差大的一字闸结构，主要借助于板桩理论的计算方法来确定一字板的埋深和配筋。

一字闸闸板的受力，在基础以上部分可按悬臂受力结构计算，基础部分可按固定支座简化考虑，边墩和中墩可按悬臂构件考虑。

(2) 在平原地区, 如果闸基为砂、粉细砂、砂壤土, 一字板设计的控制条件首先是要满足渗径要求, 然后再按抗冻拔校核和承载力校核。如果闸基为黏土, 一字板的设计控制条件为满足冻拔稳定要求。

若抗冻拔稳定条件不满足时, 通常采用的措施是增加自重, 或改善地基条件, 或改变一字板的形状, 采用趾板型。

(3) 一字闸与各种消能工的结合:

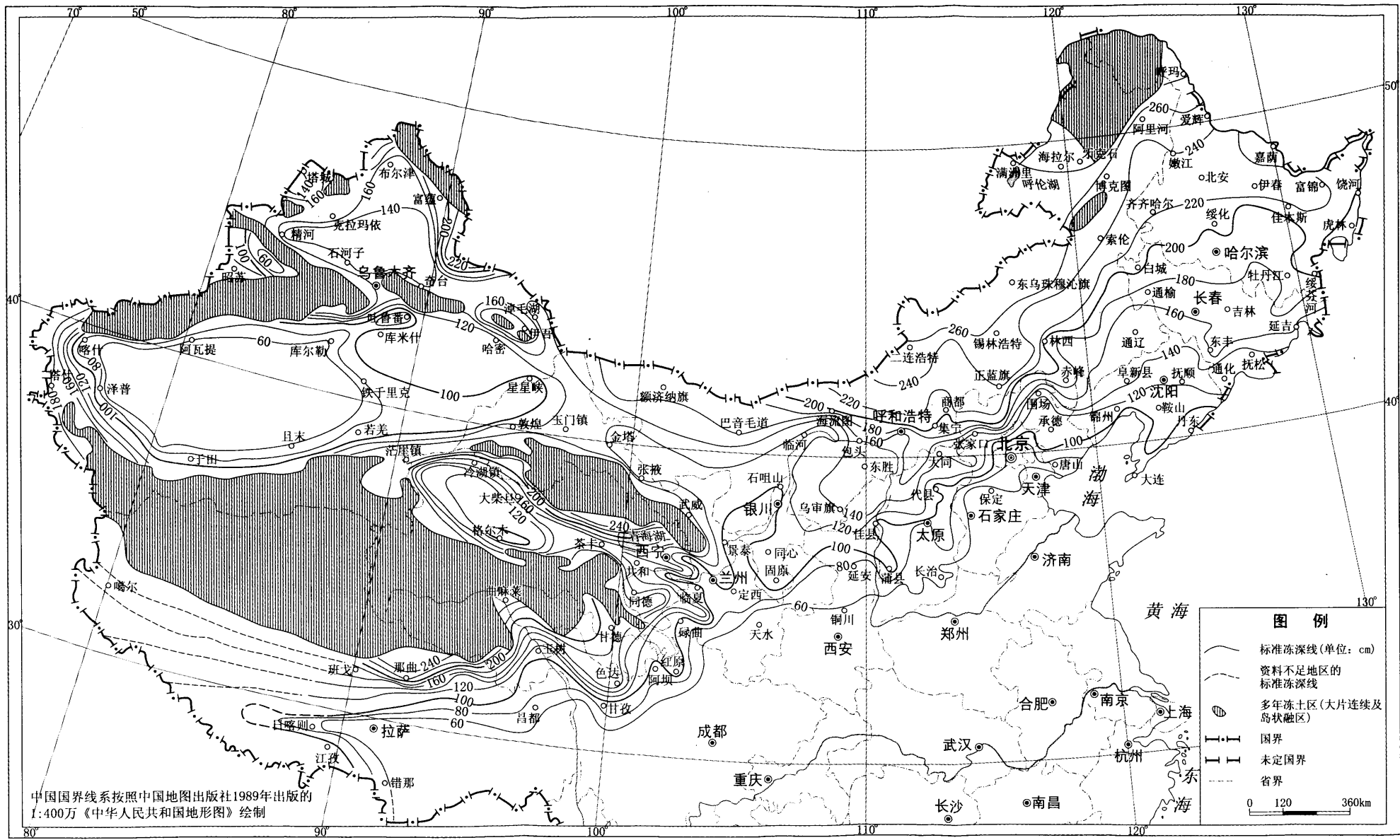
——对于渠道纵坡较缓、上下游水位差较小的一字闸, 可采用常用的消力池底流消能或 W 形消力坎的底流消能方式。

——对于上、下游水位差较大的一字闸, 可采用筛网消能或涡流式竖井消能。

**5.5.3 筛网式消能工**是在传统底流消能的消力池基础上, 在水流位置增设一层钢筋混凝土网格, 用以改变水流的方向和流态, 使其与下层水流交叉冲撞, 达到消能的目的。这种结构型式可有效缩短消力池的长度, 同时由于上层筛网格栅对消力池边墙的支撑作用, 改变了边墙的受力条件, 增强了边墙抗冻胀破坏的能力和消能工的整体性。

竖井消能工由竖井替代常规消力池。竖井基础埋深大、整体性好、抵御冻胀破坏的能力强。一般竖井为矩形断面, 其结构尺寸由水力计算和结构计算确定。

**5.5.4 灌排工程中常见小型泵房(站)**, 按结构要求的基础埋深不大, 如果按抗冻胀稳定要求将基础埋置在冻层以下, 则会增加工程量和造价, 不经济。在这种情况下, 可选择一些结构轻巧、又能有效防止冻胀破坏的结构型式。井柱式泵房基础为单排或双排钢筋混凝土灌注桩, 上部为水泵梁、电机层及泵房。这种泵房的基础为架空结构。基础与地基土接触面积小, 易处理, 只要求灌注桩基础满足抗冻拔稳定, 其他部位均按常规设计。



中国国界线系按照中国地图出版社1989年出版的  
1:400万《中华人民共和国地形图》绘制

**图例**

- 标准冻深线(单位: cm)
- 资料不足地区的标准冻深线
- 多年冻土区(大片连续及岛状融区)
- 国界
- 未定国界
- 省界

0 120 360km

图1 中国北方季节冻土区标准冻深线图